

DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO DE LA PARAFINA

INV E – 129 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo cubre el procedimiento para determinar el límite de contracción de los suelos.
- 1.2 Los datos obtenidos mediante este método de ensayo se pueden emplear, también, para calcular la relación de contracción, la contracción volumétrica y la contracción lineal.
- 1.3 Este método de ensayo es aplicable, únicamente, a suelos cohesivos.
- 1.4 Puesto que el ensayo se realiza solamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425 μm (No. 40), se debe considerar la incidencia relativa de esta porción de suelo sobre las propiedades de la muestra como un conjunto, cuando se usen estos procedimientos para evaluar las propiedades de un suelo.
- 1.5 El límite de contracción, junto con los límites líquido y plástico de los suelos se conocen como límites de Atterberg. Estos límites distinguen los límites de varios estados de consistencia de los suelos cohesivos.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Se determina el contenido de agua de una pastilla de suelo húmedo. A continuación, se determina la pérdida de humedad al secar el suelo hasta volumen constante, y este valor se resta de la humedad inicial, para calcular el límite de contracción. El volumen de la pastilla de suelo seco se determina a partir de su masa en el aire y de su masa sumergida en agua. Se usa una cubierta de parafina para prevenir la absorción de agua por la pastilla de suelo seco.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El término límite de contracción, expresado como porcentaje de humedad, representa la cantidad de agua requerida exactamente para llenar todos los vacíos de un suelo cohesivo a su mínima relación de vacíos obtenida por secado en el horno. El límite de contracción se puede usar para evaluar el potencial de contracción, el potencial de agrietamiento y el potencial de expansión de explanaciones que involucren suelos cohesivos.

4 APARATOS

- 4.1** *Balanza o báscula* – Con una capacidad mínima de 500 g y una legibilidad de 0.01 g. Deberá estar equipada con un dispositivo que permita suspender el espécimen de suelo dentro de agua desde el centro de su plataforma.
- 4.2** *Recipiente para contracción* – Circular, de porcelana o de metal monel (aleación de níquel y cobre), de base plana y de aproximadamente 44.5 mm (1 ¾") de diámetro y 12.7 mm (½") de altura.
- 4.3** *Horno* – Termostáticamente controlado, preferiblemente de ventilación forzada, y que pueda conservar temperaturas constantes y uniformes hasta $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.4** *Mortero y maja* – Un mortero de hierro o porcelana, de aproximadamente 125 a 150 mm de diámetro, con una maja forrada en caucho.
- 4.5** *Espátula* – De unos 100 mm (4") de longitud y 19 mm (¾") de ancho.
- 4.6** *Regla de metal* – De 150 mm (6") o más de longitud, cuyo lado de enrase debe ser biselado si tiene un espesor mayor de 3 mm.
- 4.7** *Tamiz* – Con aberturas de 425 μm (No. 40).
- 4.8** *Parafina microcristalina* – En cantidad suficiente para cubrir las pastillas de suelo.
- 4.9** *Hilo de costura* – Hilo fino para sostener el espécimen dentro de la parafina.
- 4.10** *Agua* – Destilada.

- 4.11** *Baño de agua* – De tamaño suficiente para permitir la inmersión de la pastilla de suelo para determinar su masa dentro del agua.
- 4.12** *Calentador de parafina* – Con un control de temperatura que impida el sobrecalentamiento.
- 4.13** *Termómetro (opcional)* – Con un rango de 0 a 50° C y graduaciones cada 0,5° C.
- 4.14** *Placa de vidrio o de plástico transparente* – Para calibrar la cazuela de contracción, de unos 80 × 80 mm y aproximadamente 5 mm de espesor.
- 4.15** *Lubricante de base de petróleo* – Para emplear en la calibración de la cazuela de contracción.
- 4.16** Dispositivo de límite líquido y herramienta de ranurado – Descritos en la norma INV E-125.

5 RIESGOS

- 5.1** El equipo para calentar la parafina o la parafina caliente pueden producir quemaduras en la piel. El sobrecalentamiento de la parafina puede producir llamas repentinas; por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al trabajar con la parafina caliente. Nunca se debe usar un dispositivo de llama abierta para calentar la parafina.

6 MUESTREO

- 6.1** Las muestras se toman de cualquier lugar que satisfaga las necesidades del ensayo. Sin embargo, se deben usar las normas INV E-101, INV E-104 e INV E-201 como guías para la selección y la conservación de las muestras obtenidas como resultado de los diferentes tipos de operaciones de muestreo.
- 6.2** Donde las operaciones de muestreo hayan conservado la estratificación natural de la muestra, los diferentes estratos se deben conservar por separado y los ensayos se deberán realizar sobre el estrato de interés, con la menor contaminación posible de los demás. Si en una obra se va a utilizar una mezcla de materiales, los suelos se deberán combinar en las mismas proporciones, para que la muestra de ensayo represente el caso real de la construcción.

- 6.3** Si los datos de este ensayo se van a usar para establecer correlaciones con otros datos de ensayos de campo o de laboratorio, se deberá utilizar el mismo material para todas las pruebas.
- 6.4** Se toma una porción representativa de la muestra total, de tamaño suficiente para obtener entre 150 y 200 g de material, pasante del tamiz de 425 μm (No. 40). Las mezclas se deben mezclar completamente en un recipiente con una espátula o cuchara, tomando una porción representativa de la masa total mediante una o más barridas con la espátula o cuchara a través de la masa mezclada.

7 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 7.1** Cada recipiente para contracción se debe calibrar como se indica en el Anexo A. Puesto que los recipientes tiene volúmenes diferentes, cada uno deberá tener una identificación permanente.
- 7.2** La gravedad específica (o densidad) de la parafina microcristalina se debe conocer con anticipación. Generalmente, su valor lo informa el fabricante. En cualquier caso, el valor de la gravedad específica se deberá verificar inicialmente y, luego, de manera periódica.
- 7.3** El baño de agua, los aparatos de ensayo y el ambiente del laboratorio se deben mantener aproximadamente a la misma temperatura mientras se realiza el ensayo.

8 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

- 8.1** El espécimen de ensayo se debe preparar de acuerdo con las instrucciones de la norma INV E-125, usando la preparación húmeda o seca, excepto que el contenido de agua del suelo se debe ajustar a una consistencia tal, que fueran necesarios unos 10 golpes del dispositivo de límite líquido para cerrar la ranura en una longitud de 13 mm. La cantidad de agua requerida puede exceder del límite líquido, tanto como en 10 puntos porcentuales.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** Se selecciona un recipiente para contracción y se anotan su identificación y su volumen. Este volumen será el mismo de la pastilla de suelo húmedo. Se engrasa ligeramente el interior del recipiente.

- 9.2** Se determina la masa del recipiente engrasado y se anota este valor como la masa del recipiente vacío.
- 9.3** Se coloca en el centro del recipiente para contracción una cantidad de suelo húmedo igual o cercana a la tercera parte del volumen de éste y se fuerza para que fluya hacia los bordes, golpeándola suavemente sobre una superficie firme y acolchonada por varias hojas de papel secante u otro material similar. A continuación, se agrega una cantidad de suelo aproximadamente igual a la primera porción y se golpea el recipiente hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire incluido haya sido expulsado. Se agrega más suelo y se continúan los golpecitos hasta que el recipiente se llene completamente y rebose por los lados. Se remueve el exceso de suelo en la superficie con la regla metálica y se limpia el que quede adherido a la superficie externa del recipiente.
- 9.4** Se pesa inmediatamente el recipiente para contracción con el suelo húmedo y se anota la masa obtenida, como masa del recipiente más el suelo húmedo.
- 9.5** Se deja secar la pastilla de suelo al aire, hasta que su color cambie de oscuro a claro. Luego, se introduce en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), hasta alcanzar masa constante y se determina la masa del recipiente más la pastilla de suelo seco.
- 9.5.1** El secado de la pastilla en el aire puede generar agrietamiento del suelo, debido a las pérdidas rápidas de humedad en climas secos. Si ocurre este problema, puede ser necesario secar el espécimen en un ambiente de humedad controlada. En este caso, el cambio de color del suelo de oscuro a claro puede tardar de 1 a 2 semanas.
- 9.6** El volumen de la pastilla de suelo seco se determina de la siguiente manera:
- 9.6.1** Se ata firmemente el hilo de costura alrededor de la pastilla de suelo seco.
- 9.6.2** Sosteniéndola con el hilo, se sumerge la pastilla en la parafina fundida hasta que quede completamente cubierta. No se debe permitir el desarrollo de burbujas en la cubierta de parafina. Si éstas aparecen, se deberá usar un elemento punzante para cortarlas y se rellena el orificio con parafina.

Nota 1: Precaución – La parafina fundida y el equipo asociado se encuentran a alta temperatura y, por lo tanto, se debe tener mucho cuidado para evitar la generación de llamas.

- 9.6.3** Se retira la pastilla de suelo de la parafina fundida y se permite que ésta se enfríe.
- 9.6.4** Se determina la masa de la pastilla de suelo cubierta de parafina y se anota este valor como la masa en el aire de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina.
- 9.6.5** Se determina la masa indicada cuando la pastilla de suelo cubierta de parafina está suspendida de la balanza y completamente sumergida en el baño de agua. Se debe tener la certeza de que no haya burbujas de aire adheridas ni a la superficie de la pastilla cubierta de parafina ni a la del hilo. El valor registrado por la balanza se anota como masa en el agua de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina.

Nota 2: Hay otros métodos aceptables para determinar la diferencia de masa de la pastilla de suelo en el aire y en el agua.

10 CÁLCULOS

- 10.1** Se calcula la masa de la pastilla de suelo seco con la expresión:

$$m_s = m_d - m \quad [129.1]$$

Donde: m_s : Masa de la pastilla de suelo seco, g;

m_d := Masa de la pastilla de suelo seco más el recipiente para contracción, g;

m : Masa del recipiente para contracción vacío, g.

- 10.2** La humedad del suelo en el instante en que se colocó en el recipiente se calcula con la fórmula:

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_s} \times 100 \quad [129.2]$$

Donde: w : Humedad del suelo en el instante en que se colocó en el recipiente para contracción, %;

m_w : Masa del suelo húmedo más el recipiente para contracción, g

10.3 El volumen de la pastilla de suelo seco se calcula como se indica a continuación.

10.3.1 Se calcula el volumen de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, así:

$$V_{dx} = \frac{m_{sxa} - m_{sxw}}{\rho_w} \quad [129.3]$$

Donde: V_{dx} : Volumen de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, cm^3 ;

m_{sxa} : Masa en el aire de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, g;

m_{sxw} : Masa de la pastilla de suelo seco envuelta en parafina, sumergida en el agua, g;

ρ_w : Densidad del agua, g/cm^3 .

Nota 3: Se suele asumir que la densidad del agua es $1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$. Si se desea mayor exactitud, se pueden usar correcciones por temperatura.

10.3.2 Se calcula la masa de parafina de la siguiente manera:

$$m_x = m_{sxa} - m_s \quad [129.4]$$

Donde: m_x : Masa de la parafina, g.

10.3.3 Se calcula el volumen de la parafina como sigue:

$$V_x = \frac{m_x}{G_x \rho_w} \text{ o } \frac{m_x}{\rho_x} \quad [129.5]$$

Donde: V_x : Volumen de la parafina, cm^3 ;

G_x : Gravedad específica de la parafina;

ρ_w : Densidad de la parafina, g/cm^3 .

10.3.4 Se calcula el volumen de la pastilla de suelo seco así:

$$V_d = V_{dx} - V_x \quad [129.6]$$

Donde: V_d : Volumen de la pastilla de suelo seco, cm^3 .

10.4 Se calcula el límite de contracción (LC), como un contenido de agua en relación con la masa de suelo seco, con la expresión:

$$LC = w - \left[\frac{(V - V_d) \rho_w}{m_s} \right] \times 100 \quad [129.7]$$

Donde: V : Volumen de la pastilla de suelo húmedo (volumen del recipiente de contracción), cm^3 .

10.5 Se calcula la relación de contracción (R), por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{m_s}{V_d \times \rho_w} \quad [129.8]$$

10.6 Se calcula el cambio volumétrico (CV) para un contenido de agua cualquiera (w_1), superior al límite de contracción, con la expresión:

$$CV = (w_1 - LC) \times R \quad [129.9]$$

w_1 : Contenido de agua cualquiera, %.

10.7 Se calcula la contracción lineal (CL) para un contenido de agua cualquiera (w_1), superior al límite de contracción, con la fórmula:

$$CL = 100 \left[1 - \sqrt[3]{\frac{100}{100 + CV}} \right] \quad [129.10]$$

11 INFORME

11.1 Se debe entregar la siguiente información:

11.1.1 Datos de identificación y descripción visual de la muestra.

11.1.2 Contenido inicial de agua, en porcentaje, aproximado al entero.

11.1.3 Valores de límite de contracción, de cambio volumétrico y de contracción lineal, redondeados al entero y sin mencionar que se trata de porcentajes.

11.1.4 Valor de la relación de contracción, aproximada a la centésima más cercana.

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 *Precisión* – La Tabla 129 - 1 presenta estimativos de precisión basados en el programa AMRL de la AASHTO, sobre dos muestras de competencia de un material CL con 95 % de finos, un límite líquido de 44, un límite plástico de 22, un límite de contracción de 14 y una relación de contracción de 1.92. La columna llamada “Rango aceptable entre dos resultados” cuantifica la máxima diferencia esperada entre dos medidas sobre muestras del mismo material bajo las condiciones presentadas en la primera columna. Estos valores sólo aplican a suelos similares a las dos muestras de competencia empeladas para establecer la precisión.

Tabla 129 - 1. Estimaciones de precisión

MATERIAL Y TIPO DE CONSTANTE FÍSICA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Un solo operador:</i> Límite de contracción	0.75	2.11
Relación de contracción	0.017	0.048
<i>Multi-laboratorio:</i> Límite de contracción	1.44	4.03
Relación de contracción	0.040	0.112

12.2 *Sesgo* – No hay valores de referencia aceptables para este método de ensayo, por cuanto el límite de contracción solo se puede definir en términos de este método de ensayo.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4943 – 08

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE PARA CONTRACCIÓN

A.1 Objeto

A.1.1 La calibración consiste en la determinación del volumen del recipiente para contracción.

A.2 Preparación del aparato

A.2.1 El recipiente para contracción, la placa de vidrio y el agua se deben encontrar a la temperatura del laboratorio antes de proceder con la calibración.

A.3 Procedimiento

A.3.1 Se untan ligeramente con grasa el interior del recipiente para contracción y la superficie de la placa de vidrio. Esta última se debe engrasar para asegurar un sello hermético cuando ella y el recipiente se trasladen a la balanza.

A.3.2 Se mide y anota la masa del recipiente más la placa de vidrio, ambos engrasados.

A.3.3 Se coloca agua dentro del recipiente hasta que rebose.

A.3.4 Se remueve el exceso de agua presionando la placa de vidrio sobre la parte superior del recipiente. Se verifica que se haya removido cualquier burbuja de aire del recipiente. Se secan las superficies exteriores de la placa y del recipiente.

A.3.5 Se mide y registra la masa del recipiente engrasado más la placa engrasada más el agua.

A.3.6 Se calcula y anota el valor de la masa de agua que ocupó el recipiente.

A.3.7 Se calcula y anota el valor del volumen del recipiente para contracción.

A.3.8 Se limpian completamente el recipiente y la placa y se repiten los pasos A.3.1 a A.3.7 para realizar un segundo tanteo.

A.3.9 Si la diferencia entre los volúmenes del recipiente calculados en los dos tanteos es mayor de 0.03 cm^3 , se hacen nuevos tanteos hasta que la diferencia entre dos tanteos consecutivos no exceda de 0.03 cm^3 . Se calcula y anota el promedio de estos dos tanteos.

A.4 Cálculos

A.4.1 La masa de agua en el recipiente para contracción se calcula así:

$$m = m_1 - m_2 \quad [129.11]$$

Donde: m : Masa de agua en el recipiente para contracción, g;

m_1 : Masa del recipiente engrasado más la placa engrasada más agua, g;

m_2 : Masa del recipiente engrasado más la placa engrasada, g.

A.4.2 El volumen del recipiente para contracción se calcula con la ecuación:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [129.12]$$

Donde: V : Volumen del recipiente para contracción, cm^3 ;

ρ : Densidad absoluta del agua, g/cm^3 (usar 1.000 g/cm^3 , ver nota 3).